

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU  
STRUČNI STUDIJ: ODRŽIVI RAZVOJ

MAJA MARCIUŠ

MATEMATIČKI MODELI U MODERNOJ GRADNJI

ZAVRŠNI RAD

ČAKOVEC, 2017.

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU

STRUČNI STUDIJ: ODRŽIVI RAZVOJ

MAJA MARCIUŠ

MATEMATIČKI MODELI U MODERNOJ GRADNJI  
MATHEMATICAL MODELS IN MODERN CONSTRUCTION

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Tibor Rodiger, pred.

ČAKOVEC, 2017.

## ZAHVALA

Zahvaljujem mentoru Tiboru Rodigeru, pred., na pomoći i savjetima tijekom pisanja završnog rada.

Zahvaljujem svojim i suprugovim roditeljima što su provodili vrijeme s mojim sinom, te mi omogućili da se posvetim pisanju rada, izlascima na ispite i pohađanju predavanja.

Hvala mom suprugu na velikoj pomoći i podršci.

Zahvaljujem i svojim prijateljima, kolegama studentima, profesorima i djelatnicima Međimurskog veleučilišta u Čakovcu.

## SADRŽAJ

SAŽETAK

ABSTRACT

POPIS SLIKA

1. UVOD .....	1
2. MODERNA ARHITEKTURA .....	2
3. FRANK LLOYD WRIGHT I NJEGOVA ARHITEKTURA .....	3
4. MATEMATIKA U ARHITEKTURI FRANKA LLOYDA WRIGHTA .....	5
4.1. Izometrija .....	7
4.1.1. Osna simetrija .....	7
4.1.2. Centralna simetrija .....	8
4.2. Zlatni rez .....	9
4.3. Fibonaccijev niz .....	10
4.4. Kružnica .....	12
4.5. Pravični mnogokut .....	12
5. UNITY TEMPLE .....	13
6. KUĆA FREDERICKA C. ROBIEJA .....	17
7. KUĆA FALLINGWATER .....	20
8. KUĆA PAULA I JEAN HANNA .....	23
9. MUZEJ GUGGENHEIM .....	25
10. TORANJ KOMPANIJE H.C. PRICE .....	28
11. KUĆA NORMAN LYKES .....	31
12. ZAKLJUČAK .....	33
13. LITERATURA .....	34
14. POPIS SLIKOVNIH REFERENCI .....	35

## POPIS SLIKA

<b>Slika 1.</b> <i>Frank Lloyd Wright</i> .....	4
<b>Slika 2.</b> <i>Fröbelovi darovi</i> .....	5
<b>Slika 3.</b> <i>Primjeri osno simetričnih likova</i> .....	8
<b>Slika 4.</b> <i>Primjeri centralno simetričnih likova</i> .....	9
<b>Slika 5.</b> <i>Odnos zlatnog reza</i> .....	10
<b>Slika 6.</b> <i>Fibonaccijeva spirala</i> .....	11
<b>Slika 7.</b> <i>Koncentrične kružnice</i> .....	12
<b>Slika 8.</b> <i>Pravilni dvanAesterokut</i> .....	12
<b>Slika 9.</b> <i>Unity Temple</i> .....	13
<b>Slika 10.</b> <i>Tema križa, usporedba Unity Temple i crteža Leonarda da Vincija iz</i> <i>Codex Atlanticus-a za Baziliku sv. Petra</i> .....	14
<b>Slika 11.</b> <i>Odnos kretanja i osi na tlocrtu Unity Temple</i> .....	14
<b>Slika 12.</b> <i>Odnos dimenzija na tlocrtu</i> .....	15
<b>Slika 13.</b> <i>Osnova simetrija interijera Unity Temple</i> .....	15
<b>Slika 14.</b> <i>Prikaz centralne simetrije na tlocrtu župne kuće</i> .....	16
<b>Slika 15.</b> <i>Prikaz centralne simetrije na tlocrtu dvorane</i> .....	16
<b>Slika 16.</b> <i>Kuća Robie</i> .....	17
<b>Slika 17.</b> <i>Horizontalni i vertikalni elementi</i> .....	18
<b>Slika 18.</b> <i>Tlocrt kuće Robie</i> .....	18
<b>Slika 19.</b> <i>Prikaz centralne simetrije</i> .....	19
<b>Slika 20.</b> <i>Model kuće Robie</i> .....	19
<b>Slika 21.</b> <i>Fallingwater</i> .....	20
<b>Slika 22.</b> <i>Tlocrt prizemlja kuće Fallingwater</i> .....	21
<b>Slika 23.</b> <i>Tlocrt prvog kata kuće Fallingwater</i> .....	21
<b>Slika 24.</b> <i>Tlocrt drugog kata kuće Fallingwater</i> .....	22
<b>Slika 25.</b> <i>Fallingwater i Fröbelovi darovi</i> .....	22
<b>Slika 26.</b> <i>Kuća Hanna</i> .....	23
<b>Slika 27.</b> <i>Vertikalna i horizontalna rešetka</i> .....	23
<b>Slika 28.</b> <i>Tlocrt kuće Hanna na horizontalnoj šesterokutnoj rešetci</i> .....	24
<b>Slika 29.</b> <i>Tlocrt kuće Hanna</i> .....	24

<b>Slika 30.</b> <i>Solomon R. Guggenheim muzej</i> .....	25
<b>Slika 31.</b> <i>Krov muzeja gledano odozdo</i> .....	26
<b>Slika 32.</b> <i>Krov muzeja gledano iz zraka</i> .....	26
<b>Slika 33.</b> <i>Stubište u obliku spirale</i> .....	27
<b>Slika 34.</b> <i>Pogled na muzej</i> .....	27
<b>Slika 35.</b> <i>Toranj kompanije Price</i> .....	28
<b>Slika 36.</b> <i>Mreža tornja kompanije Price</i> .....	29
<b>Slika 37.</b> <i>Tlocrt Tornja H.C. Price</i> .....	29
<b>Slika 38.</b> <i>Centralna simetrija unutarnjih zidova</i> .....	30
<b>Slika 39.</b> <i>Centralna simetrija vanjskih zidova</i> .....	30
<b>Slika 40.</b> <i>Kuća Norman Lykes</i> .....	31
<b>Slika 41.</b> <i>Tlocrt kuće Norman Lykes</i> .....	31
<b>Slika 42.</b> <i>Kružnica i kružni lukovi</i> .....	32
<b>Slika 43.</b> <i>Kružni luk</i> .....	32

## SAŽETAK

*Matematika je temelj arhitekture. Zahvaljujući razumijevanju matematike, arhitekti osmišljavaju, projektiraju i grade svoje građevine. Veza između matematike i arhitekture datira iz antičkih vremena. Geometrijski oblici ne samo da čine arhitektonski objekt, već pravila geometrije, konstrukcijske metode, izračuni stabilnosti, zakoni proporcije i simetrije omogućavaju sklad, ljepotu, stabilnost i funkcionalnost arhitektonskih građevina.*

*Matematički modeli i odnosi moderne gradnje prikazani su u ovom radu kroz opis jednog od najvećih američkih arhitekata, svrstanog među pionire moderne arhitekture, Franka Lloyda Wrighta. U radu je opisana njegova arhitektura te u njoj sadržana matematika, neke od najpoznatijih građevina te pripadajući im matematički modeli. Wright je imao 9 godina kada je od svoje majke dobio na poklon igru Friedricha Wilhelma Augusta Fröebela, Pokloni (eng. Gifts). Bila je to igra s drvenim kockama, kuglama i valjcima pomoću kojih su djeca učila o matematici, geometrijskim oblicima i kreativnom dizajnu. Sam je Wright jednom prilikom rekao kako je ova igra iz djetinjstva uvelike utjecala na njega i njegov rad: "Drveni blokovi ... Među mojim su prstima sve do danas" [1]. Wright je isprva koristio ravne linije dok su unutarnji prostori njegovih građevina bili pravocrtni. U kasnijim fazama svog rada, razvivši pojedine ideje, ravnu liniju zamjenjuje krivuljom. Priroda je jedan od najbitnijih alata u Wrightovoj arhitekturi koji primjenjuje od samog početka i rezultira stvaranjem organske arhitekture. S vremenom, kroz svoj dizajn sve više usavršava ideju sklada životnog prostora i prirode postignutog sjedinjenjem objekta s prirodom.*

*Za svoga je života Frank Lloyd Wright osmislio tisuću, a izgradio više od pet stotina građevina, među kojima su neke od najpoznatijih Fallingwater, muzej Solomon R. Guggenheim, kuća Robie, Unity Temple i kuća Hanna.*

**Ključne riječi:** *Frank Lloyd Wright, matematika u arhitekturi Franka Lloyda Wrighta, geometrija Franka Lloyda Wrighta, organska arhitektura, prerijske kuće, Fallingwater*

**ABSTRACT**

*Mathematics is the foundation of architecture. Mathematical knowledge enables architects to design and build their buildings. The connection between mathematics and architecture dates back to antiquity. Geometrical shapes do not only make the architectural object, but geometrical rules, construction methods, stability calculations, proportions laws and symmetry make possible the harmony, beauty, stability and functionality of architectural structures.*

*Mathematical models and modern building relations described in this paper are based on the exemplary work of Frank Lloyd Wright, one of the greatest American architects who is also praised as one of the founders of modern architecture. In the paper we will describe Wright's architecture and its belonging mathematics, some of his most famous buildings as well as mathematical models behind their construction. Wright was nine years old when he received a present from his mother which would ultimately change his life - Friedrich Wilhelm August Fröebel's children's game Gifts. The game contained wooden dice, balls and rollers, which made it possible for children to learn about mathematics, geometrical shapes and creative design. On one occasion Wright admitted that this childhood play had largely influenced him and his work: "Wooden blocks ... In my fingers until today" [1]. In his early work, Wright used straight lines and the interior spaces of his buildings were straight. As his design progressed, a straight line was replaced by a curve. Nature is one of the most important tools in Wright's architecture. The rules of nature, applied in his work from the very beginning, lead to the creation of organic architecture. Over time Wright had increasingly perfected the idea of harmonising living space with nature. In order to achieve this, the object designed should be unified with nature itself.*

*Through the course of his life and career Frank Lloyd Wright designed a thousand and built more than five hundred buildings. Some of his most famous works are Fallingwater, Solomon R. Guggenheim Museum, Robie House, Unity Temple and Hanna House.*

**Keywords:** *Frank Lloyd Wright, mathematics in Frank Lloyd Wright's architecture, Frank Lloyd Wright's geometry, organic architecture, prairie house, Fallingwater*



## 1. UVOD

Moderna se arhitektura, prepoznatljiva po jednostavnim formama i zanimljivim konstrukcijskim oblicima, sastoji od više stilova kojima je zajednička uporaba nove tehnologije građenja, betona, čelika i stakla. Frank Lloyd Wright smatra se jednim od začetnika moderne arhitekture. Geometriju kojom se koristio u svome radu možemo nazvati geometrijom oblika. Korišteni su geometrijski oblici kvadrata, pravokutnika, trokuta, paralelograma, šesterokuta, kruga i spirale, a rezultat je postignut zahvaljujući ravnoj i čvrstoj geometriji.

Početak Wrightova rada obilježio je takozvani “prerijski stil” (*eng. prairie style*). Vodoravna crta dominira u dizajnu prerijske kuće koja je prepoznatljiva po niskom krovu, dugačkim prozorima i otvorenom konceptu. Kuća Fredericka C. Robieja u Chicagu ubraja se među najbolje primjere ovog stila. Nakon što se 1911. godine vratio iz Europe, Wright je započeo izgradnju svog privatnog utočišta, Taliesina kod Spring Greena. Kuća Taliesin dva je puta izgorjela u požaru. Dvadesetih godina prošlog stoljeća Wright je sagradio poznatu kuću Ennis. Godine 1935. započinje gradnju jednog od najpoznatijih svjetskih arhitektonskih djela, kuće na slapu - Fallingwater, savršenog primjera sklada arhitekture i prirode. U tridesetima Wright gradi jednostavne i malene usonijske kuće ravnih krovova i prihvatljive cijene među kojima valja izdvojiti kuću Herberta Jacobsa. U svojim kasnijim godinama Wright stvara izvanredne građevine: Taliesin West, muzej Solomona R. Guggenheima i toranj kompanije Price [2].

Wright upotrebljava deskriptivnu geometriju, zlatni rez i Fibonaccijevu spiralu. Mnogi svjetski arhitekti i danas svoju inspiraciju pronalaze u njegovom radu [3].

## 2. MODERNA ARHITEKTURA

Pokret moderne arhitekture započeo je nakon požara u Chicagu 1871. godine kada je bilo potrebno ponovno izgraditi grad nakon razaranja i udovoljiti velikoj potražnji doseljenika za novim nekretninama. Otvoreni prema novi idejama i tehnologijama mladi su inženjeri takozvane Čikaške škole u svom radu odbacili historicizam 19. stoljeća i okrenuli se gradnji temeljenoj na konstruktivizmu i funkcionalizmu. Na stvaranju novih građevina kompliciranog dizajna radile su cijele ekipe arhitekata [4].

Adler i Sullivan činili su jednu od navedenih ekipa. Louis Henry Sullivan, tvorac modernih nebodera, smatran "ocem moderne", poznat je po ideji prema kojoj "oblik slijedi funkciju". Također je bio mentor jednom od začetnika moderne arhitekture, Franku Lloyd Wrightu. Stil moderne gradnje pronašao je svoj put do Europe zahvaljujući Josefu Hoffmannu, Adolfu Loosu, Bruni Tautu, Maxu Bergu te ostalim arhitektima koji su slijedili načela američkih kolega iz Čikaške škole [5]. Stil njemačke umjetničke škole Bauhaus, osnovane 1919. godine, postao je jednim od najutjecajnijih u modernoj arhitekturi. Kroz modernu pojavljuju se različiti stilovi i veliki utjecajni arhitekti kao što su Le Corbusier i Ludwig Mies van der Rohe. Među najznačajnijim je arhitektima svakako bio i Frank Lloyd Wright, autor nekih od najljepših objekata moderne arhitekture koji svu svoju veličinu pokazuje u kasnoj modernini.

Modernu gradnju karakterizira spajanje jednostavnih geometrijskih oblika u funkcionalne cjeline. Oblik zgrade proizlazi iz kombinacije horizontalnih i vertikalnih linija dok inspiracija prirodom rezultira uporabom krivulja i geometrijskih oblika kristala, kruga, spirale i drugih. Le Corbusier razvija antropometrijsku skalu proporcija Modulor. Kako bi stvorili modernu građevinu arhitekti se okreću simetriji, asimetriji, zlatnome rezu i još mnoštvu zanimljivih matematičkih zakona te krajem 20. stoljeća usvajaju znanja iz fraktalne geometrije.

### 3. FRANK LLOYD WRIGHT I NJEGOVA ARHITEKTURA

Jedan od najvećih svjetskih arhitekata i začetnik moderne arhitekture, Frank Lloyd Wright, rodio se 8. lipnja 1867. godine u Richland Centeru u saveznoj državi Wisconsin. Njegova mu je majka Anne Lloyd-Jones u djetinjstvu darovala set za igru Pokloni (*eng. Gifts*) njemačkog pedagoga Friedricha Fröbela, koji je kroz kreativnu igru želio poučiti djecu o osnovnim geometrijskim oblicima i kreativnom dizajnu. Veliki je utjecaj na Wrightov kasniji rad imao život na farmi njegova ujaka Jamesa Lloyd-Jonesa. Wright se tada emotivno vezao uz prirodu i selo, što kasnije rezultira nastankom organske arhitekture i gradnjom seoskih kuća [1].

Wright je uz rad studirao građevinu na Sveučilištu u Wisconsinu kako bi uzdržavao sestre i majku nakon što ih je otac napustio. Po završetku studija odlazi u Chicago i počinje raditi kod poznatog arhitekta Lymana Silsbeeja. Nakon nepunih godinu dana napušta ovaj posao i počinje raditi u tvrtki Adler & Sullivan kod Louisa H. Sullivana, jedinog arhitekta čiji rad i utjecaj priznaje. Kako bi povećao prihode Wright počinje raditi “na crno“, što se nije svidjelo aktualnome poslodavcu Sullivanu i rezultiralo je raskidom ugovora o radu 1893. godine. Nakon toga započinje Wrightova vlastita karijera. Sullivan i Wright korektno su poslovno surađivali te je prekid suradnje obojici teško pao. Wright je do kraja života odavao poštovanje svom učitelju i uzoru Sullivanu [6].

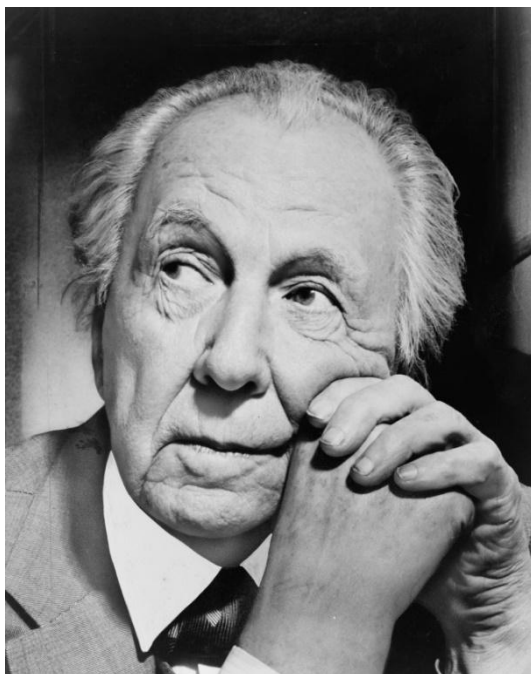
Na izložbi u Chicagu 1893. godine Wright se po prvi puta susreo s japanskom arhitekturom koji je na njega ostavila snažan utisak. Iako je to kasnije porekao, teško je vjerovati kako nije utjecala na njegov rad budući da u japanskoj arhitekturi nalazimo iste elemente kao i u prerijskim kućama; otvoren unutarnji prostor, naglašenu horizontalnost i modularnu organizaciju. Iste godine Wright gradi prvu u nizu svojih veličanstvenih kuća, za klijenta Williama H. Winslowa u River Forestu [2].

Početkom 1900-ih godina Wright je sagradio neka od svojih životno važnih djela. U prvom desetljeću gradi prerijske kuće čiji je najpoznatiji primjer kuća Robie u Chicagu sagrađena 1908. godine. Dvije godine ranije sagrađen je hram Unity koji je uvelike obilježio njegovu karijeru. Do kraja desetljeća Wright je sagradio više od 130 objekata i stekao veliku popularnost u svojoj zemlji. Krajem 1909. godine Wright napušta suprugu Catherine s kojom je bio u braku od 1889. godine i šestero djece. Godine 1911.

započela je gradnja obiteljskog doma za Wrighta i novu partnericu. Kuća je dva puta stradala u požaru, ali Wright je bio odlučan i obnovio je po treći put [3]. Godine 1928. Wright se ponovno vjenčao te sa suprugom Olgom Lazović osnovao arhitektonsku školu u Taliesinu. U tridesetim godinama gradi usonijske kuće; cjenovno prihvatljive i kvalitetne domove za prosječne obitelji. Najpoznatiji je primjer kuća Herberta Jacobsa. Godine 1939. sagrađeno je prema mnogima najljepše Wrightovo djelo, kuća Fallingwater na pensilvanijskoj rječici Bear Run. Ovi su izvanredni objekti Wrightu donijeli veliki publicitet. Početkom četrdesetih godina Wright počinje upotrebljavati kružnicu i spiralu te gradi muzej Solomon R. Guggenheim i trgovinu V.C. Morris.

F. L. Wright prvi je među arhitektima upotrijebio izraz organska arhitektura kako bi dočarao dizajnom postignutu harmoniju objekta i prirode. Objekt je sjedinio s prirodom zahvaljujući uporabi prirodnih materijala i vještím baratanjem znanjem geometrije. Najbolji je primjer Wrightove organske arhitekture Fallingwater [7].

Zahvaljujući projektiranju više od tisuću objekata te izgradnji njih petstotinjak, Frank Lloyd Wright nalazi se na samome vrhu popisa najboljih arhitekata svijeta. Umro je 9. travnja, 1959. godine. Na slici 1 prikazan je Frank Lloyd Wright.



**Slika 1.** *Frank Lloyd Wright*

*Izvor: [https://www.visualnews.com/wp-content/uploads/2013/10/Frank\\_Lloyd\\_Wright\\_portrait.jpg](https://www.visualnews.com/wp-content/uploads/2013/10/Frank_Lloyd_Wright_portrait.jpg)*

#### 4. MATEMATIKA U ARHITEKTURI FRANKA LLOYDA WRIGHTA

Wright se u djetinjstvu upoznaje s igrom Pokloni (*eng. Gifts*). Igru je osmislio njemački pedagog Friedrich Fröbel koji se prije pedagoškog rada bavio kristalografijom. Cilj igre bio je da djeca kroz kreativnu aktivnost nauče doživljavati predmete, boje i teksture. Igra se sastojala od jednostavnih geometrijskih likova koje je bilo potrebno složiti u veće kompozicije. Gospođa Wright u svome je domu osmislila fröbelovski vrtić. Prema riječima Lionela Marcha, “igra se bavi s tri teme, a to su kreativna i aritmetička povezanost, geometrijski odnosi kao što su refleksija, simetrija i rotacija te evokativne kompozicije figurativne reprezentacijske prirode“ [2]. Na slici 2 prikazani su Fröbelovi darovi.



**Slika 2.** Fröbelovi darovi

*Izvor: <http://www.playart.org/viewimage.php?galleryImageID=1703>*

“Fröbel je igru podijelio u tri kategorije: oblike znanja (matematika / znanost), oblike života (objekti iz života / svijeta djeteta) i oblike ljepote (apstraktni uzorci i nacrti)” [1].

Prvi darovi sastoje se od šest mekanih loptica primarnih boja pomoću kojih djeca usvajaju osnovna znanja o bojama, težini, padu, brzini, vremenu i ljuljanju. Darovi pod brojem dva sadrže dvije kocke, kuglu, valjak i štapiće. Površinska udubljenja za štapić

omogućavaju vrtnju tijela. Djeca tako uče razlikovati geometrijske oblike, upoznaju stranice i rubove tijela te ih uče međusobno povezivati. Darovi broj tri sastoje se od osam kocaka. Dijete može oduzimati i zbrajati kocke te učiti osnovne matematičke operacije. Veći broj blokova omogućava djetetu slaganje vlastite konstrukcije. Darovi broj četiri sastoje se od osam kvadara koji su slični prethodnim darovima, ali ih dijete uči od njih razlikovati. Darovi broj pet sastoje se od 21 kocke, 6 pravilnih četverostranih prizmi čija je visina dva puta manja od stranice i 12 pravilnih četverostranih prizmi kojima je visina dva puta veća od baze.

Više blokova djetetu omogućuju slaganje složenijih konstrukcija. Darovi broj šest u obliku građevnih blokova omogućuju prvi arhitektonski osjećaj. Igra se sastoji od 18 pravokutnika, 12 kvadrata i 6 stupova. U sedmim, osim i devetim darovima nalazi se velik broj sitnih dijelova čime Fröbel iz trodimenzionalnih oblika prelazi u dvodimenzionalne. Darovi broj sedam sastoje se od šarenih geometrijskih likova i omogućuju slaganje složenijih geometrijskih likova ili spajanje u trodimenzionalni oblik. U igri pod brojem osam nalaze se obrisi i bridovi oblika, dok je u onoj devetoj velik broj točaka. Svaka nova igra temelji se na znanju prethodne što omogućava spontani razvoj djetetove mašte [8].

“Za Wrighta je temeljna geometrijska struktura sadržana u prirodi. Kroz razmišljanje o prirodi dolazi do koncepta organske arhitekture. Njegovu arhitekturu čine čisti geometrijski oblici složeni u veće kompozicije te korištenje geometrije kroz razne oblike i organizacijske principe. Prerijska kuća sastoji se od horizontalnih i vertikalnih ravnina. Horizontalne su ravnine istaknute te se protežu izvan vertikalnih granica čime se oslobađa unutarnji prostor. Konzolni krovovi dodatno doprinose oslobođenju prostora. Važan je element Wrightove prerijske arhitekture centralna simetrija unutarnjih prostora. Ulaskom u kuću vidljivi su različiti razmjeri; niža visina u predvorju, viša u dnevnoj sobi i blagovaonici“ [9].

Wright koristi opisnu geometriju, granu geometrije koja omogućava prikaz trodimenzionalnog objekta u dvije dimenzije. Upotrebljava osnu i centralnu simetriju.

U kasnijim godinama Wright prelazi s modela kvadrata na trokutni i šesterokutni. Kako bi objekt sjedinio s prirodom upotrebljava geometrijske oblike za koje smatra da su s njome usklađeni, kao i trokutaste te mnogokutne module. Oduševljen kristalima razmišlja o stvaranju kristalične arhitekture u gradovima koji bi izgledali kao prirodni

organizam. U posljednjim godinama svoga rada odbacuje ravnu geometriju kao neusklađenu s prirodom te “njegov modul tada postaje kružnica, karakteristični vertikalni oblik izvrnuti stožac, a strukturalni oblik spirala“ [2].

#### 4.1. Izometrija

**Definicija:** *Neka je  $\pi$  ravnina i  $f: \Pi \rightarrow \Pi$  funkcija. Tada je  $f$  izometrija ako je za bilo koje dvoje točke  $A, B$  ravnine  $\Pi$  ispunjeno:  $d(f(A), f(B)) = d(A, B)$ .*

Jednostavnije rečeno, izometrija je preslikavanje ravnine na ravninu koje čuva udaljenost točaka.

Svojstva izometrije:

- Svaka izometrija ravnine  $\Pi$  preslikava bijektivno pravac na pravac,
- Slika dužine  $\overline{AB}$  je dužina  $f(A)f(B)$ ,
- Slika polupravca s početkom u točki  $O$  je polupravac s početkom u točki  $f(O)$  i
- Ako su  $A$  i  $B$  fiksne točke od  $f$ , onda je i svaka točka pravca  $AB$  fiksna točka od  $f$ .

##### 4.1.1. Osna simetrija

**Definicija:** *Osna simetrija ili zrcaljenje izometrija jest ravnina kojoj je skup fiksnih točaka pravac (os simetrije).*

Svojstva osne simetrije:

- Ako osna simetrija pridružuje točki  $A$  (koja nije na osi simetrije) točku  $A'$ , tada je os simetrije simetrala dužine  $\overline{AA'}$  i
- Osna simetrija je gibanje koje mijenja orijentaciju.

Osnosimetrični likovi

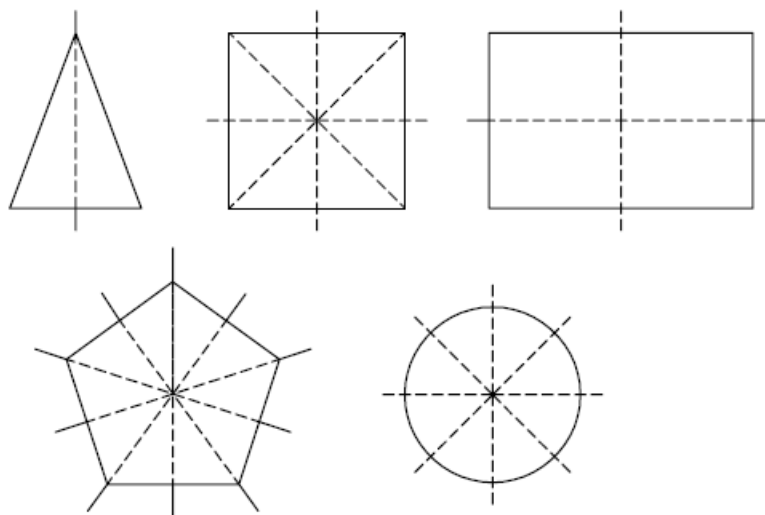
**Definicija:** *Za lik kažemo da je osnosimetričan ako postoji barem jedan pravac (os simetrije) s obzirom na koji se lik preslika u samoga sebe.*

Primjeri osnosimetričnih likova:

- Jednakokračan trokut,
- Kvadrat,
- Pravokutnik,

- Pravilni mnogokut i
- Krug.

Na slici 3 prikazani su primjeri osnosimetričnih likova.



**Slika 3.** *Primjeri osnosimetričnih likova*

#### 4.1.2. Centralna simetrija

**Definicija:** *Centralna simetrija je izometrija ravnine kojoj je skup fiksnih točaka točka S (središte simetrije).*

Svojstva centralne simetrije:

- Točka A, njoj pridružena točka A' i središte simetrije S na jednom su pravcu, a S jest polovište dužine AA' i
- Simetrija je gibanje koje ne mijenja orijentaciju.

Centralnosimetrični likovi

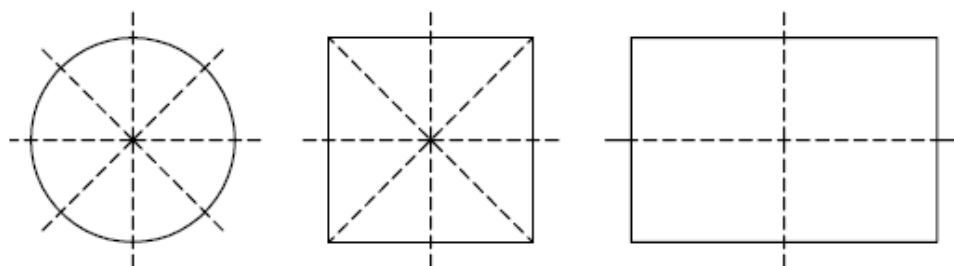
**Definicija:** *Za lik kažemo da je centralnosimetričan ako postoji točka (centar simetrije) tako da se lik preslika u samog sebe.*

Primjeri centralnosimetričnih likova:

- Krug,
- Kvadrat i
- Pravokutnik.



Na slici 4 prikazani su primjeri centralnosimetričnih likova.



**Slika 4.** *Primjeri centralnosimetričnih likova*

#### 4.2. Zlatni rez

**Definicija:** Dvije su veličine u zlatnome rezu ako se manji dio odnosi prema većemu kao što se veći odnosi prema ukupnome.

Prikaz jednadžbe za izračun zlatnog reza:

$$\frac{m}{M} = \frac{M}{m + M} = \lambda \quad (1)$$

Ako je  $m = M\lambda$  :

$$\frac{M\lambda}{M} = \frac{M}{M\lambda + M} \dots \lambda = \frac{1}{\lambda + 1} \quad (2)$$

$$\lambda^2 + \lambda - 1 = 0$$

$$\lambda = \frac{-1 + \sqrt{5}}{2} \approx 0.6180339887$$

$$\varphi = 0.6180339887$$

Ako je jednadžba u obliku

$$\frac{M}{m} = \frac{m + M}{M} = \lambda \quad (3)$$

$$\lambda^2 - \lambda - 1 = 0$$

$$\lambda = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} \approx 1.6180339887$$

$$\varphi = 1.6180339887$$

Na slici 5 prikazan je odnos zlatnog reza.



**Slika 5.** Odnos zlatnog reza

Izvor: [http://e.math.hr/sites/default/files/slike/Vol30\\_Zlatnitrokat1.png](http://e.math.hr/sites/default/files/slike/Vol30_Zlatnitrokat1.png)

**Definicija:** Broj  $\varphi = \frac{1+\sqrt{5}}{2} \approx 1.6180339887$  nazivamo zlatni broj.

#### 4.3. Fibonaccijev niz

**Definicija:** Fibonaccijev niz je niz  $(f_n)$  za koji vrijedi  $f_{n+1} = f_n + f_{n-1}$ .

Fibonaccijev niz je niz definiran sa svoja prva dva člana. Ukoliko je  $f_1 = 0$ , i  $f_2 = 1$  dobivamo niz: 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21 ... . Taj se niz u početku nazivao Fibonaccijevim nizom, dok se danas pod Fibonaccijevim nizom podrazumijeva svaki niz iz prethodne definicije.

Vezu između zlatnog reza i Fibonaccijevog niza pronašao je D. Bernoulli početkom 18. stoljeća.:

$$f_n = \frac{1}{\sqrt{5}} \left[ \left( \frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^n - \left( \frac{1-\sqrt{5}}{2} \right)^n \right] \quad (4)$$

Fibonaccijeva spirala

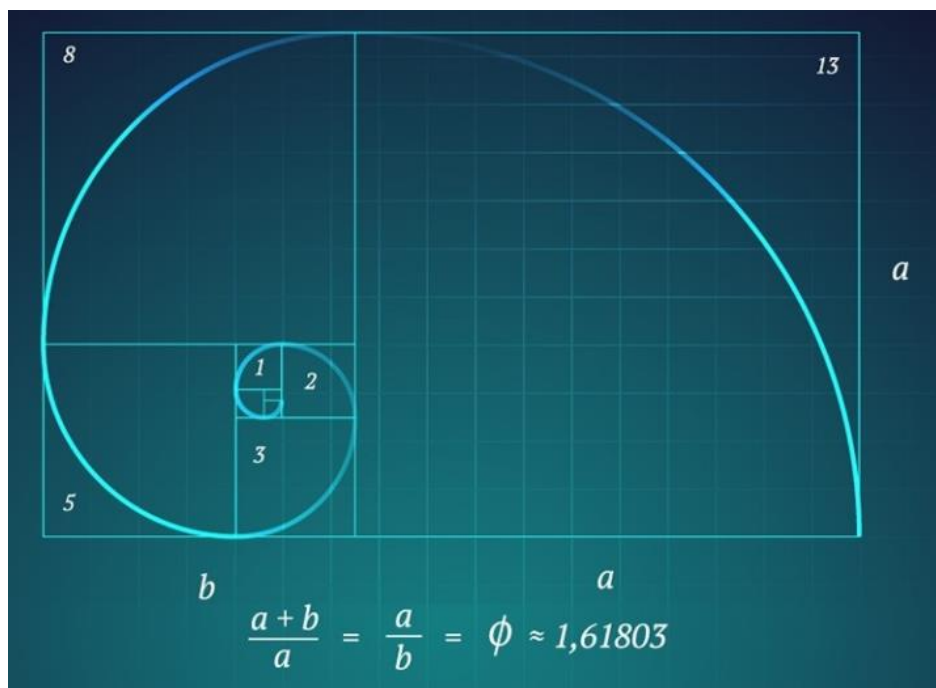
**Definicija:** Fibonaccijeva spirala je spirala koja nastaje iscrtavanjem lukova koji spajaju suprotne kuteve kvadrata u Fibonaccijevom popločanju.

Zlatna spirala

**Definicija:** Zlatna spirala je logaritamska spirala kojoj je baza zlatni broj.

Fibonaccijeva i zlatna spirala približno su jednake, ali ne i identične.

Na slici 6 prikazana je Fibonaccijeva spirala.



**Slika 6.** Fibonaccijeva spirala

Izvor: <http://heraznanje.com/fibonacci-niz-matematika-i-ljepota-u-prirodi-oko-nas/#>

#### 4.4. Kružnica

**Definicija:** Kružnica sa središtem u točki  $S$  je skup svih točaka ravnine koje su jednako udaljene od točke  $S$ .

Polumjer kružnice je dužina koja spaja središte  $S$  i neku točku kružnice.

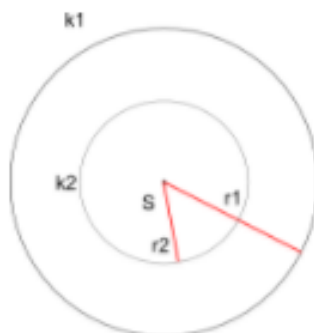
Kružni luk

**Definicija:** Kružni luk je dio kružnice omeđen s dvije točke na toj kružnici.

Koncentrične kružnice

**Definicija:** Koncentrične kružnice su kružnice koje imaju zajedničko središte.

Na slici 7 prikazane su koncentrične kružnice.



**Slika 7.** Koncentrične kružnice

Izvor: <http://matematika.odlican.net/index.php?iz=3-142-0>

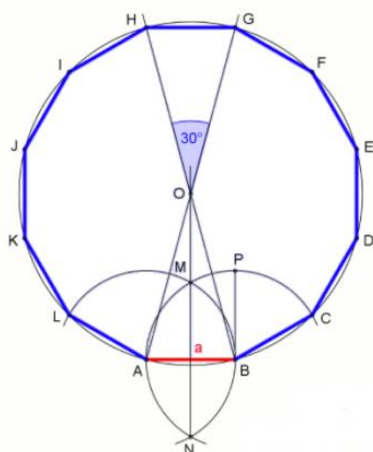
#### 4.5. Pravilni mnogokut

**Definicija:** *Pravilni mnogokut je mnogokut kojem su sve stranice jednake duljine, a svi kutovi jednake veličine.*

Svojstva:

- U svakom pravilnom mnogokutu može se upisati i opisati kružnica,
- Veličina unutrašnjeg kuta pravilnog mnogokuta (n-terokuta) je  $\alpha_n = \frac{(n-2)180^\circ}{n}$  i
- Veličina središnjeg kuta pravilnog mnogokuta (n-terokuta) je  $\beta_n = \frac{360^\circ}{n}$ .

Na slici 8 prikazan je pravilni dvanaesterokut.



**Slika 8.** Pravilni dvanaesterokut

Izvor: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/81/01-](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/81/01-Zw%C3%B6lf-Seite-gegeben_Animation.gif)

[Zw%C3%B6lf-Seite-gegeben\\_Animation.gif](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/81/01-Zw%C3%B6lf-Seite-gegeben_Animation.gif)

## 5. UNITY TEMPLE

Unity Temple, unitarijanski hram u Oak Parku u Illinoisu izgrađen najvjerojatnije 1906. godine, građevina je kojom Wright stječe iskustvo u uporabi i eksperimentiranju s materijalima. Glede nedovoljnih crkvenih sredstava hram je izgrađen od jeftinog lijevanog betona koji je zahvaljujući Wrightovoj filozofiji organske arhitekture i korištenju prirodnih materijala ostao sakriven.

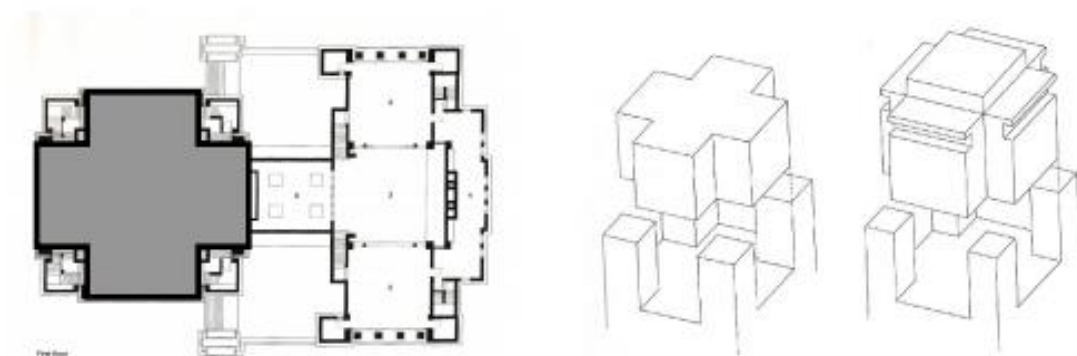
Unity hram, otkriva H-tlocrt koji razdvaja dvije suprotstavljene funkcije, župnu kuću i dvoranu u obliku kocke i kvadra povezanih ulaznim prostorom. U unutrašnjosti četiri stupca nose gornju krovnu armiranobetonsku ploču na kojoj se nalaze kvadratni krovni prozori, dok su glede zaštite od buke vanjski zidovi do gornje razine izgrađeni bez prozora. Na gornjoj se razini nalaze stakleni zasloni [10]. Na slici 9 prikazan je Unity Temple.



**Slika 9.** *Unity Temple*

*Izvor: <https://www.chicagoarchitecture.org/wp-content/uploads/2015/02/FLW-01.jpg>*

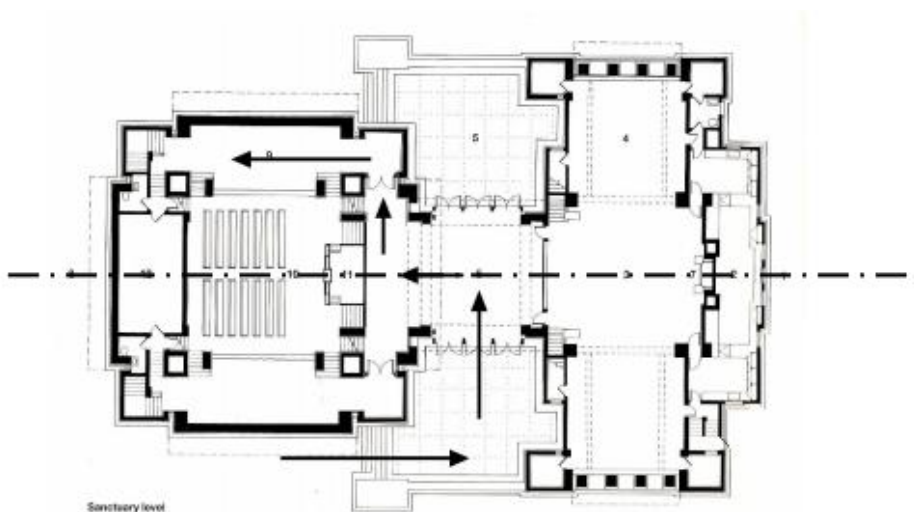
Unity Temple čine dva međusobno povezana bloka, kvadrata i pravokutnika, spojena u kompoziciju H. Tema hrama je kvadrat ukršten križem. Temu križa slijede i rasvjetna tijela, vitraji te namještaj [9]. Na slici 10 prikazana je tema križa i usporedba Unity Temple sa crtežom Leonarda da Vinci za Baziliku sv. Petra.



**Slika 10.** Tema križa, usporedba Unity Temple i crteža Leonarda da Vincija iz Codex Atlanticus - a za Baziliku sv. Petra

Izvor: <http://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/ETD-TAMU-2009-05-608/Srinivasan.pdf>

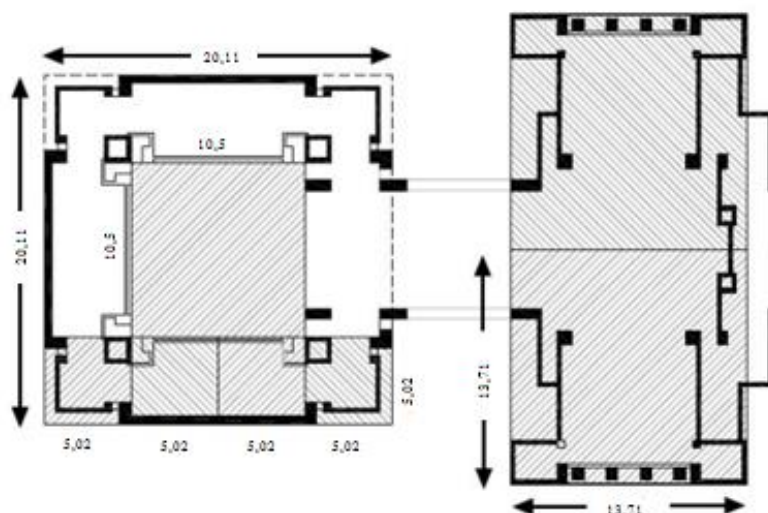
Na slici 11 prikazan je odnos kretanja i osi na tlocrtu Unity Temple.



**Slika 11.** Odnos kretanja i osi na tlocrtu Unity Temple

Izvor: <http://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/ETD-TAMU-2009-05-608/Srinivasan.pdf>

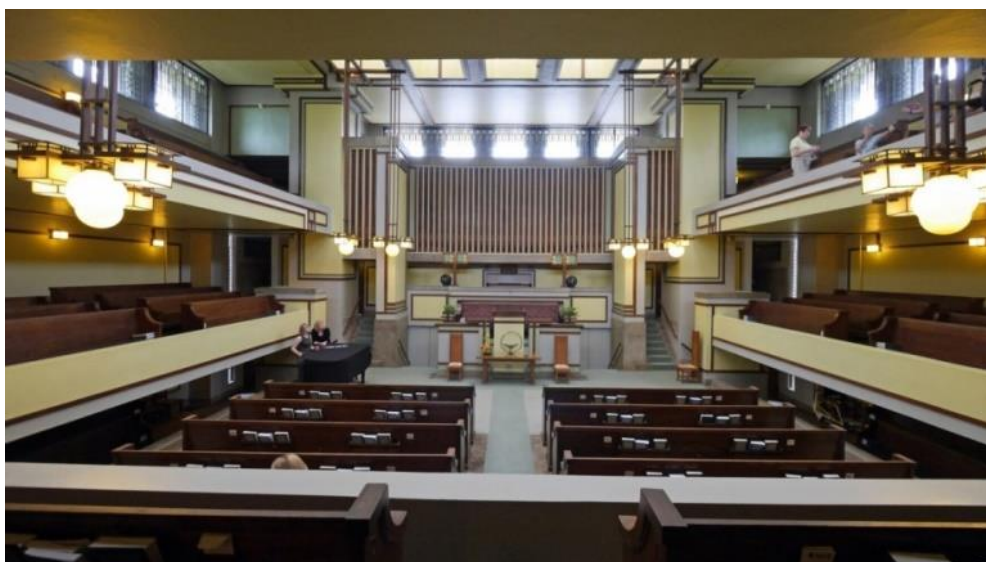
Na tlocrtu, slika 12., prikazan je odnos dimenzija. Kod kvadratnog su dijela dimenzije vanjskih zidova 20,1 metar, a razmak stupova 10 metara. Južni dio zgrade podijeljen je na četiri prostorije u obliku kvadrata duljine stranice 5 metara. Pravokutnik se sastoji od dva kvadrata dimenzija 13,71 metar.



**Slika 12.** Odnos dimenzija na tlocrtu

Izvor: <http://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/ETD-TAMU-2009-05-608/Srinivasan.pdf>

Tlocrti župne kuće i dvorane centralno su simetrični likovi. Unutrašnjost je župne kuće osnosimetrična. Na slici 13 prikazan je osnosimetričan interijer Unity Temple.

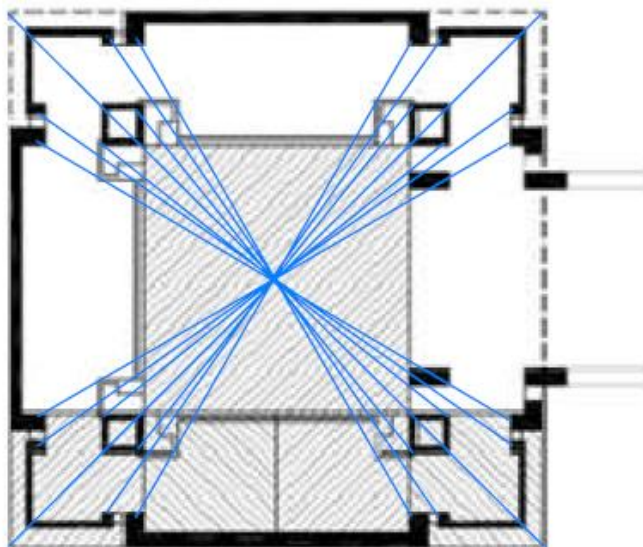


**Slika 13.** Osna simetrija interijera Unity Temple

Izvor: <https://i.ytimg.com/vi/uEzXDGE0of0/maxresdefault.jpg>

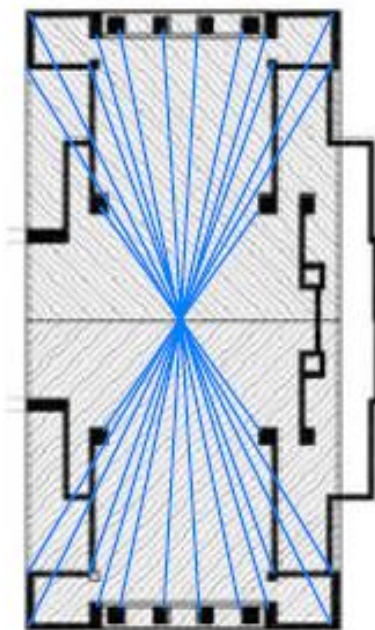


Na slici 14 prikazana je centralna simetrija na tlocrtu župne kuće Unity Temple.



**Slika 14.** *Prikaz centralne simetrije na tlocrtu župne kuće*

Na slici 15 prikazana je centralna simetrija na tlocrtu dvorane Unity Temple.



**Slika 15.** *Prikaz centralne simetrije na tlocrtu dvorane*



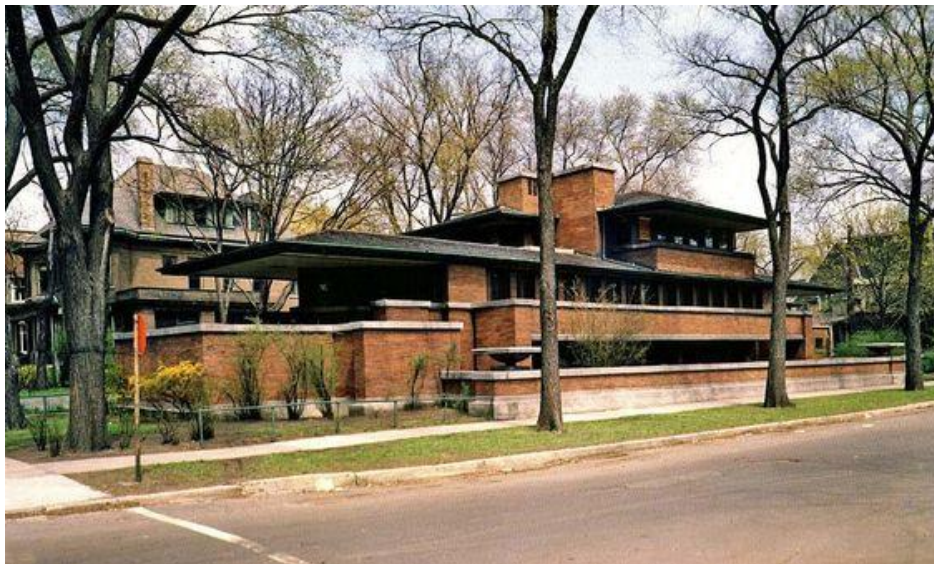
## 6. KUĆA FREDERICKA C. ROBIEJA

Kuća Robie, sagrađena između 1908. i 1909. godine. u Chicagu, Illinois za Fredericka C. Robbieja, smatra se najljepšom prerijskom kućom.

Tlocrt prvog kata čine dva pravokutnika koji naizgled “klize” jedan po drugome. Prvi pravokutnik, kojeg je Wright kaminom podijelio na pola, čine prostori dnevne sobe i blagovaonice, sobe za biljar i sobe za igru. U drugome se pravokutniku nalaze sobe za poslugu te pomoćne prostorije. Na mjestu gdje se pravokutnici spajaju na prvome katu smješteni su ulaz i stubište, dok su na drugome katu spavaće sobe. Horizontalnost je naglašena krovnim strehama i rimskom opekom, vodoravni zglobovi ispunjeni su žbukom krem boje, a okomiti žbukom od opeke. Wright je u kući Robie dizajnirao i namještaj, uzorke tkanine, rasvjetna tijela i prozore [10].

Kuća Robie proglašena je nacionalnom povijesnom znamenitošću 27. studenog 1963. godine, te je uvrštena u američki Nacionalni registar povijesnih mjesta.

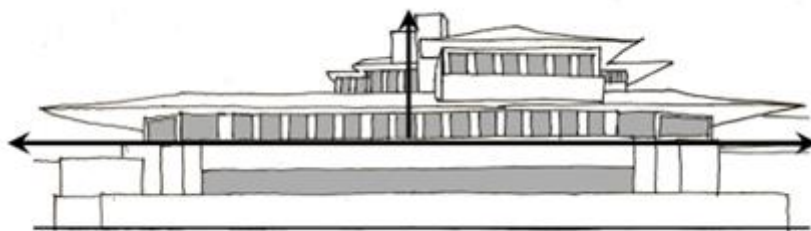
Na slici 16 prikazana je kuća Robie.



**Slika 16.** *Kuća Robie*

*Izvor: <https://i.pinimg.com/564x/8b/55/4f/8b554fbf84920a4066036d7c1a2ba951.jpg>*

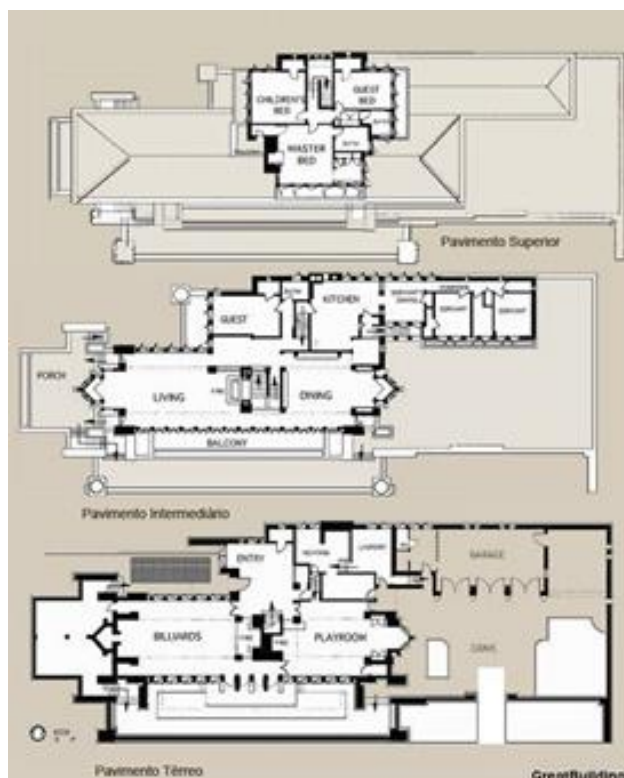
Horizontalnost je istaknuta dimenzijama prema kojima širina više od dva puta premašuje duljinu i visinu. Na slici 17 prikazani su horizontani i vertikalni elementi kuće Robie.



**Slika 17.** Horizontalni i vertikalni elementi

Izvor: <http://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/ETD-TAMU-2009-05-608/Srinivasan.pdf>

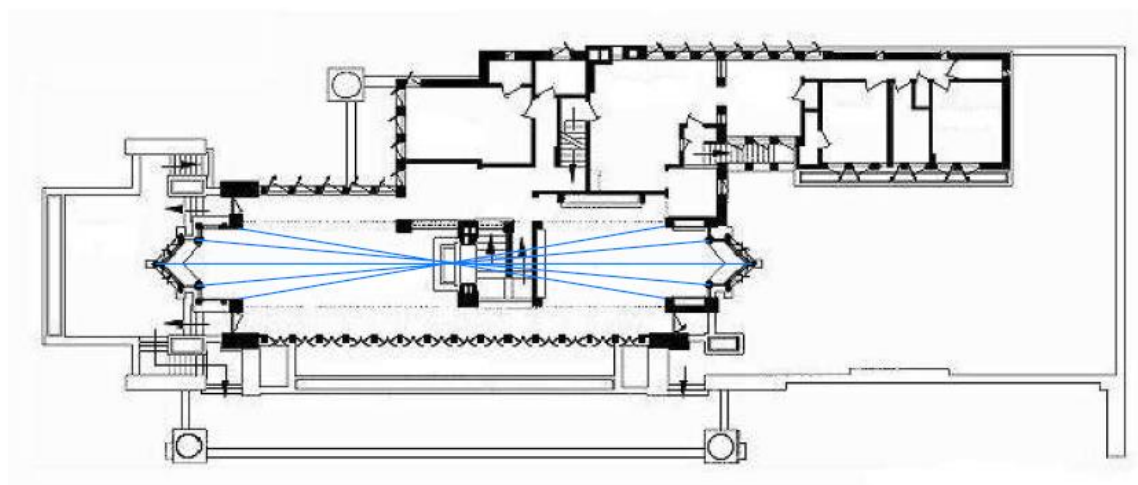
Kuća Robie nije simetrična sama po sebi već se sastoji od više osnosimetričnih ili centralnosimetričnih dijelova. Većina kuteva u kući iznose  $90^\circ$ , ali u prizemlju i na prvome katu primjećujemo kuteve od  $45^\circ$ . U unutrašnjim prostorijama horizontalnost nije prisutna u tolikoj mjeri kao u cijeloj kući. Na slici 18 prikazani su tlocrt prizemlja, tlocrt prvog kata i tlocrt drugog kata kuće Robie.



**Slika 18.** Tlocrt kuće Robie

Izvor: <https://i.pinimg.com/736x/2b/4d/c1/2b4dc13e30798680fbcc87877387fdce--robie-house-prairie-house.jpg>

Samo se u središnjoj prostorijski primjećuju horizontalnost i kutevi od  $45^\circ$ . Ta je prostorija ujedno i centralnosimetrična, s kaminom pozicioniranim u centru simetrije. Na slici 19 prikazana je centralna simetrija na tlocrtu prvog kata kuće Robie.



**Slika 19.** Prikaz centralne simetrije

Kuća Robie može se opisati na primjeru Fröbelovih darova - sastoji se od geometrijskih oblika koji se nalaze u Fröbelovim darovima od tri do šest; kocaka, kvadara i piramida. Na slici 20 prikazan je model kuće Robie pomoću Fröbelovih darova.



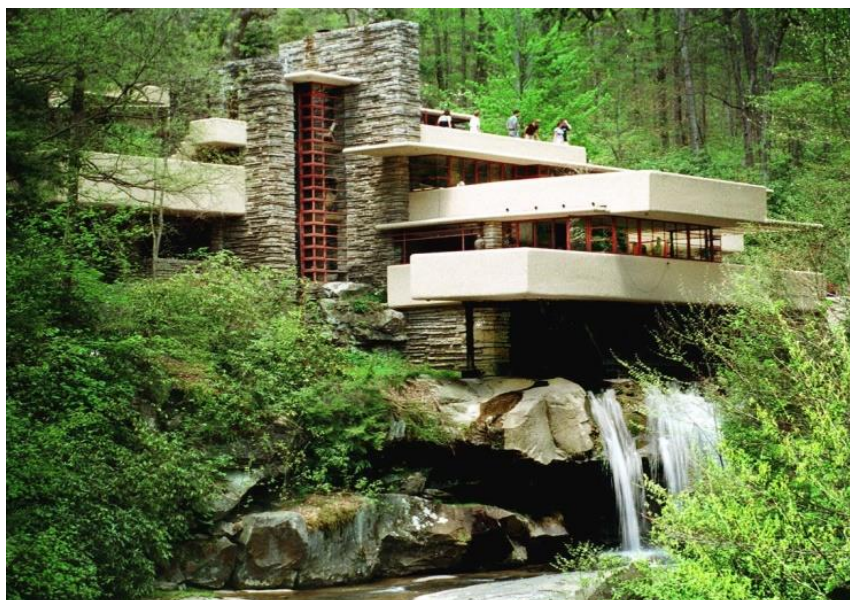
**Slika 20.** Model kuće Robie pomoću Fröbelovih darova

Izvor: [http://cdn.nexternal.com/redhentoys/images/prairie\\_elevation.jpg](http://cdn.nexternal.com/redhentoys/images/prairie_elevation.jpg)

## 7. KUĆA FALLINGWATER

Fallingwater, kuća na slapu, savršen primjer organske arhitekture, jedno je od najpoznatijih remek-djela moderne arhitekture koja naglašava ravnotežu između arhitekture i prirode. Wright je kuću dizajnirao za Liline i Edgara J. Kaufmanna, vlasnika robnih kuća Kaufmann. Kuća Fallingwater izgrađena je iznad slapa na rječici Bear Run u šumi Pennsylvanije. Čine je horizontalna kompozicija od armiranog betona i vertikalni zidovi od kamenih ploča. Dugački stakleni prozori otvaraju se prema prirodi. Povezanost s prirodom dodatno je naglašena uporabom prirodnih materijala.

Na slici 21 prikazana je kuća Fallingwater.

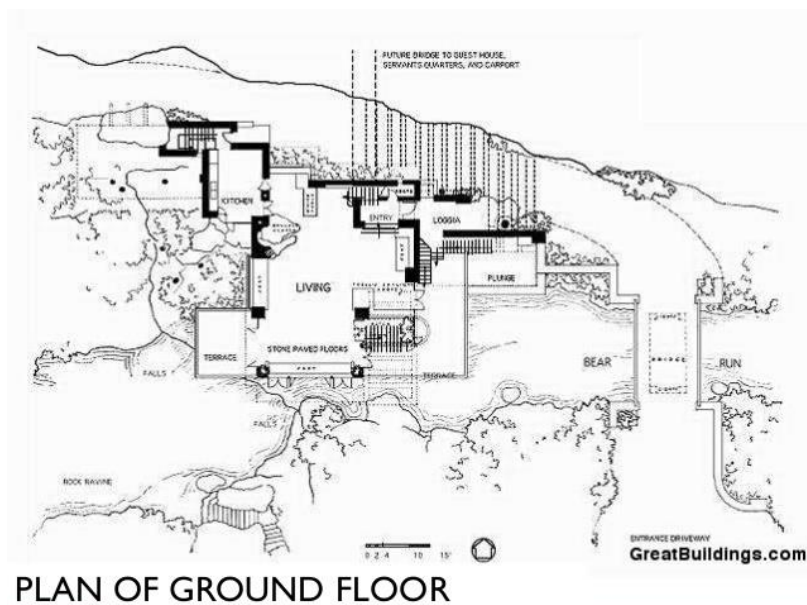


**Slika 21.** *Fallingwater*

*Izvor: <http://www.apcor.pt/en/portfolio-posts/fallingwater/>*

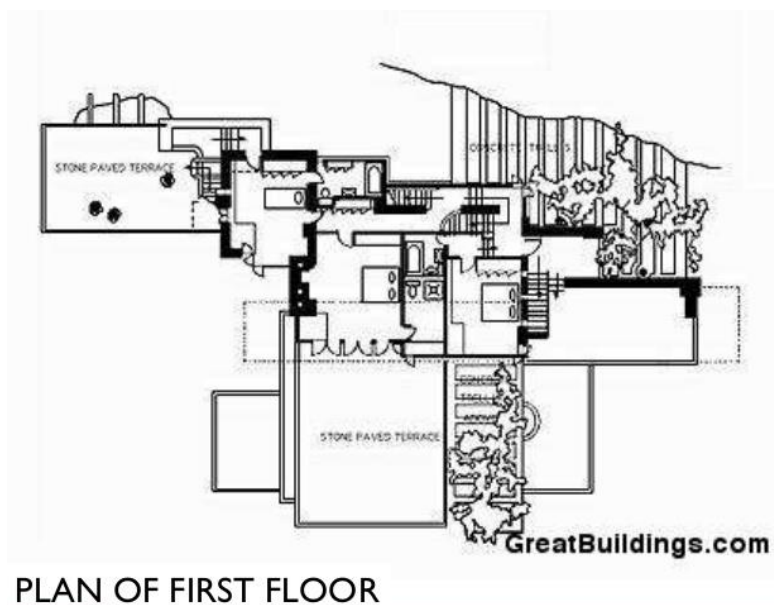
Fallingwater prikazuje horizontalnu liniju balkona naspram vertikalnih linija zidova i kamina [2]. Wright je ovdje koristio mrežni sustav i pravokutnu rešetku uslijed čega kuću čine samo kutevi od 90°. Iz tlocrta kuće Fallingwater jasno je vidljivo kako je kuća nastala spajanjem pravokutnika i kvadrata. Na slikama 22, 23, i 24 prikazan je tlocrt prizemlja, tlocrt prvog kata i tlocrt drugog kata kuće Fallingwater.





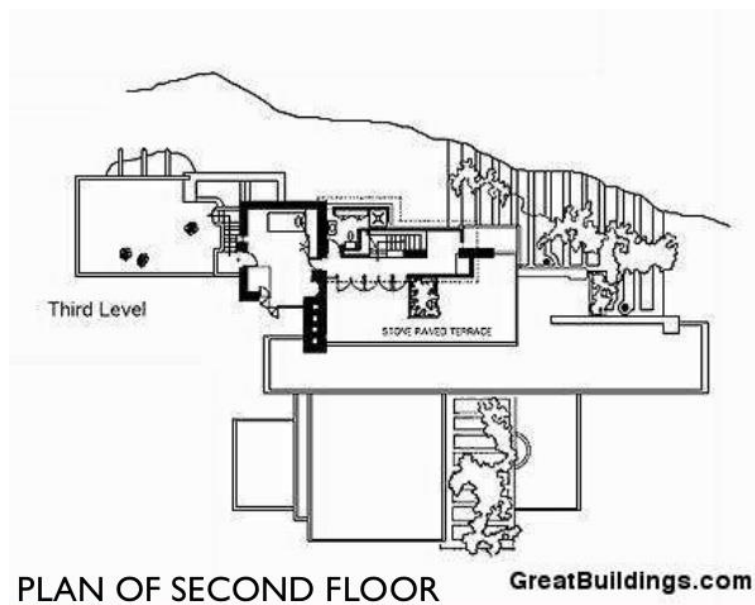
**Slika 22.** Tlocrt prizemlja kuće Fallingwater

Izvor: [http://mrfatta.com/wp-content/uploads/2015/10/Falling\\_Water\\_08.jpg](http://mrfatta.com/wp-content/uploads/2015/10/Falling_Water_08.jpg)



**Slika 23.** Tlocrt prvog kata kuće Fallingwater

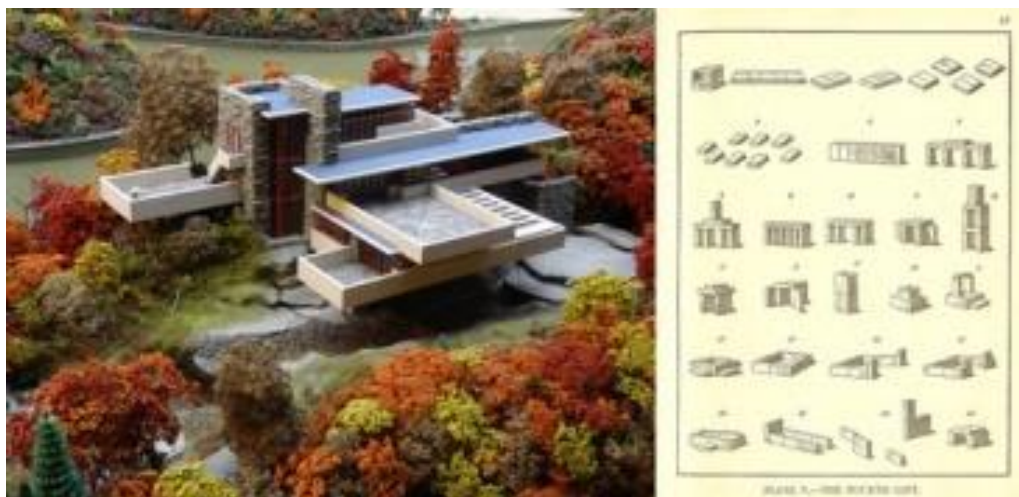
Izvor: <http://www.ieor.berkeley.edu/~goldberg/flw/second-floor-bw.gif>



**Slika 24.** Tlocrt drugog kata kuće Fallingwater

Izvor: [http://www.math.umd.edu/~dgulick/WorldCourses/WRLD125/IMAGES/FLW\\_FW](http://www.math.umd.edu/~dgulick/WorldCourses/WRLD125/IMAGES/FLW_FW)

Kuća Fallingwater najbolji je primjer arhitekture slaganja elemenata nadahnutih Fröbelovim darovima broj četiri. Na slici 25 prikazan je maketa kuće Falingwater i Fröbelovi darovi.



**Slika 25.** Fallingwater i Fröbelovi darovi

Izvor:

[https://68.media.tumblr.com/2e054f6d5f5f81af9ddd0cd5c34c3066/tumblr\\_inline\\_n8ikz2](https://68.media.tumblr.com/2e054f6d5f5f81af9ddd0cd5c34c3066/tumblr_inline_n8ikz2)

KACD1rrmc50.jpg

## 8. KUĆA HANNA

Kuća Hanna, poznata i kao Honey Comb House, sagrađena je između 1935. i 1937. godine za potrebe Paula i Jean Hanna u Kaliforniji. Tragajući za fleksibilnijim planom Wright je u ovoj kući po prvi put, umjesto pravokutnika ili kocke, kao osnovni plan upotrijebio šesterokutnu geometriju. Šesterokutni modul tlocrta podsjeća na saće, po čemu je kuća i dobila svoje drugo ime.

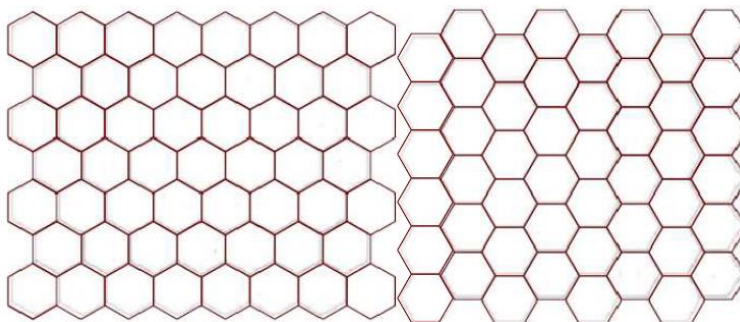
Kod kuće Hanna Wright koristi nepravokutnu geometriju i jedan od svojih prvih šesterokutnih tlocrta. Oblik šesterokuta omogućava veću slobodu kretanja. Na slici 26 prikazana je kuća Hanna.



**Slika 26.** Kuća Hanna

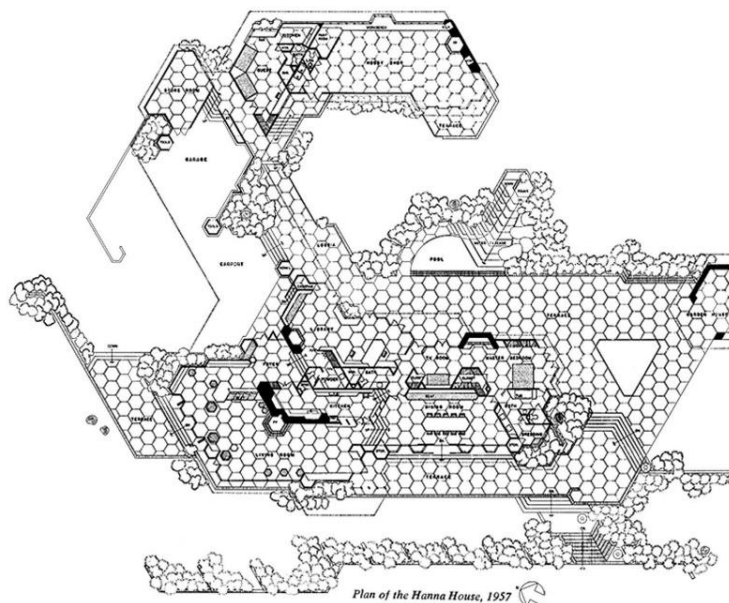
*Izvor: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1b/Hanna\\_House\\_10.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1b/Hanna_House_10.JPG)*

Kuća Hanna nije u obliku šesterokuta, ali je konstruirana na šesterokutnoj rešetki. Šesterokutna rešetka sastavljena od pravilnih šesterokuta može sadržavati sustav vertikalnih ili horizontalnih šesterokuta. Iz tlocrta kuće Hanna vidljivo je kako se radi o horizontalnoj šesterokutnoj rešetki. Na slici 27 prikazane su vertikalna i horizontalna rešetka.



**Slika 27.** Vertikalna i horizontalna rešetka

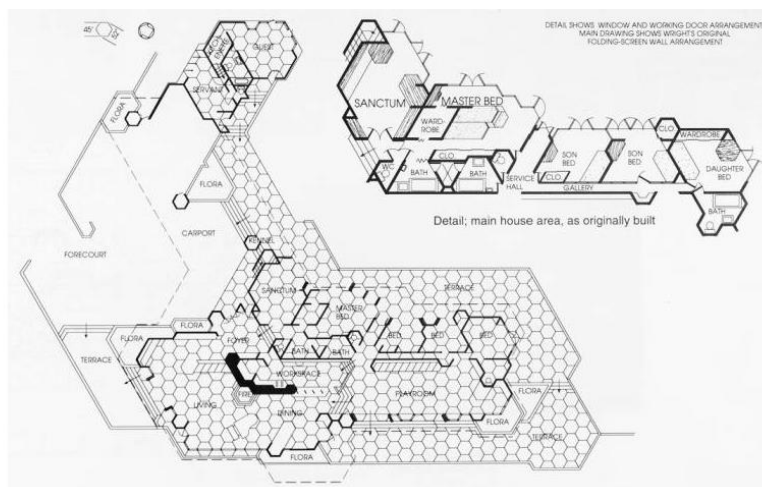
Na slici 28 prikazan je tlocrt kuće Hanna na horizontalnoj rešetki.



**Slika 28.** Tlocrt kuće Hanna na horizontalnoj šesterokutnoj rešetki

Izvor: <https://c6zvmr2tzkmc2w17wo5cppn-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2015/09/site-plan.jpg>

Unutrašnji kut pravilnog šesterokuta iznosi  $120^\circ$ , a središnji  $60^\circ$ . Ukoliko spojimo središnju točku s ostalim točkama šesterokuta dobijemo 6 jednakostraničnih trokuta. Takva kuća stoga može imati kuteve od  $60^\circ$ ,  $120^\circ$  i  $240^\circ$ . Ostali su likovi takve rešetke; trapez, paralelogram i romb. Wright je tlocrt kuće Hanna konstruirao kombinacijom jednostavnih likova dobivši tako složeniji lik šesterokuta, što je očit primjer utjecaja Fröbelovih darova broj sedam. Na slici 29 prikazan je tlocrt kuće Hanna.



**Slika 29.** *Tlocrt kuće Hanna*

Izvor: [http://wright-up.blogspot.hr/2013\\_11\\_01\\_archive.html](http://wright-up.blogspot.hr/2013_11_01_archive.html)



## 9. MUZEJ SOLOMON R. GUGGENHEIM

Projekt za muzej nastao je između 1943. i 1954. godine. Izgradnja muzeja u New Yorku za kolekcionara Solomona R. Guggenheima dovršena je 1959. godine.

Proteklo je šesnaest godina od početka projektiranja do otvaranja vrata muzeja. Plan šesterokutnog oblika bio je jedan od pripremljenih, dok su ostale činile kružne sheme uz rampu. Po Wrightovoj zamisli, posjetitelji se voze liftom do vrha muzeja te zatim spuštaju zavojitim stubištem uživajući u umjetninama. Na vrhu se nalazi kupola sa staklenim krovom aluminijskog okvira kroz koji dopire prirodno svjetlo. Sam muzej napravljen je od ojačanog betona dok su rampa i radijalni zidovi napravljeni od laganog betona.

U muzeju se nalaze zbirke poznatih kipara i slikara među kojima se ističe ona slikara Vasilija Vasiljeviča Kandinskog. Na slici 30 prikazan je Solomon R. Guggenheim muzej.

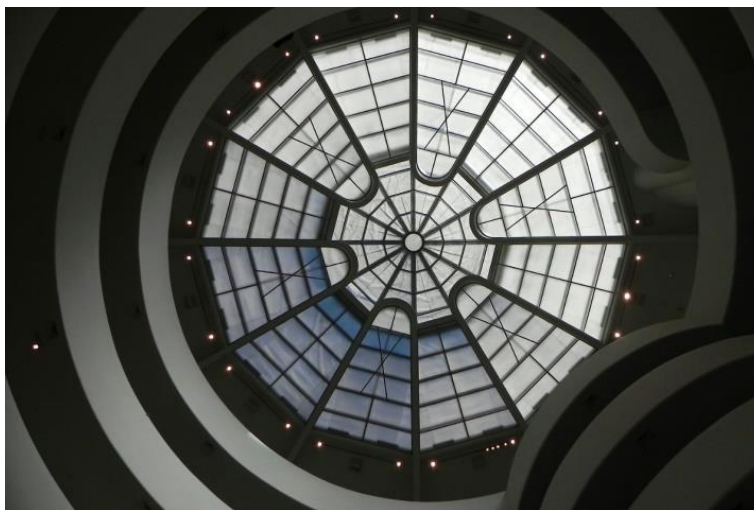


**Slika 30.** *Solomon R. Guggenheim muzej*

*Izvor: <http://mustseeplaces.eu/wp-content/uploads/2017/02/solomon-r-guggenheim-museum-new-york.jpg>*

U arhitekturi muzeja Guggenheim nailazimo na razne geometrijske oblike: kvadrat, krug, trokut i spiralu. Betonski je toranj napravljen od koncentričnih krugova s dvanaesterokutnom kupolom na vrhu. Odozdo gledano, zavojito stubište za kretanje niz izložbeni prostor oblika je Fibonnacijeve ili zlatne spirale.

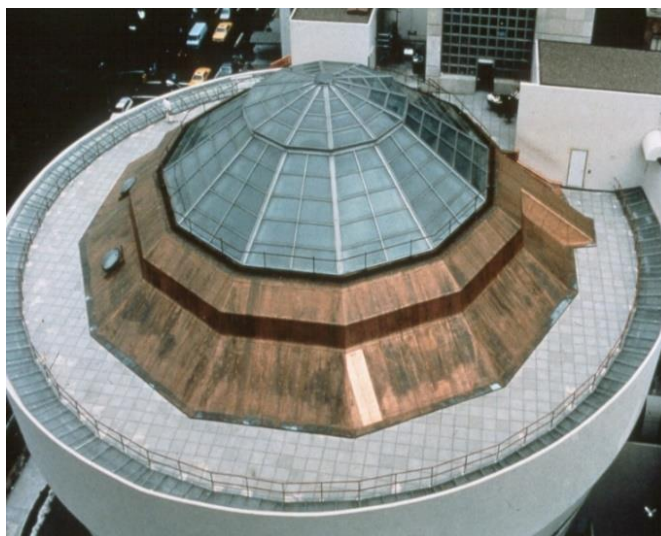
Iznad središnje dvorane muzeja nalazi se krov koji čine pravilna dvanaesterostrana krnja piramida i pravilna dvanaesterostrana piramida iznad nje. Bridovi piramida izrađeni su od aluminija, a strane od stakla. Na slici 31 prikazan je krov Guggenheima gledano odozdo, a na slici 32 gledano iz zraka.



**Slika 31.** Krov muzeja gledano odozdo

*Izvor:*

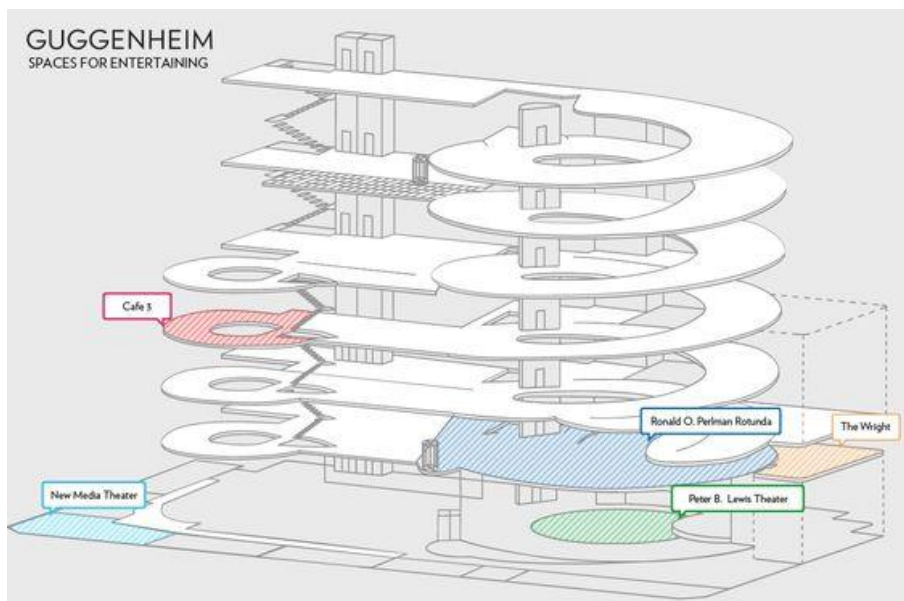
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/61/The\\_Guggenheim\\_Window.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/61/The_Guggenheim_Window.jpg)



**Slika 32.** Krov muzeja gledano iz zraka

*Izvor:* <https://www.hydrotechusa.com/sites/default/files/projects/Guggenheim1.jpg>

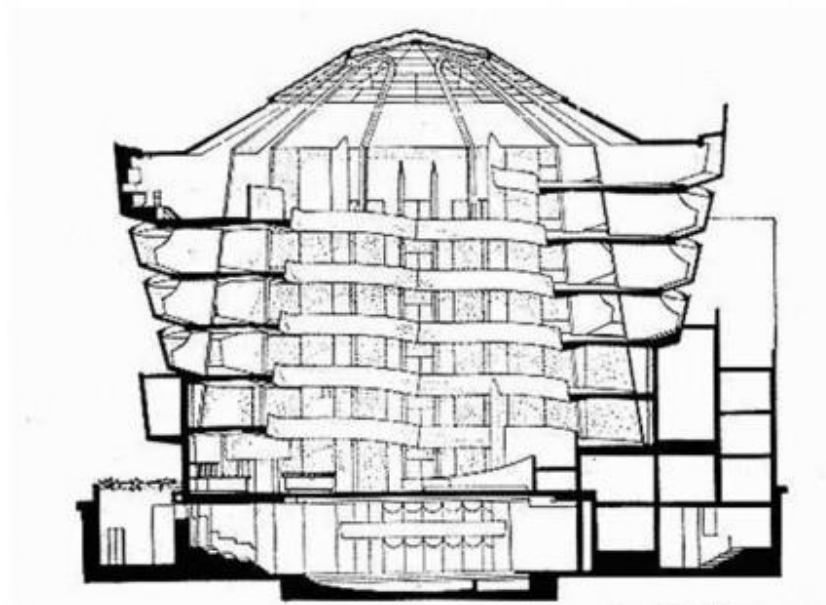
Na slici 33 prikazano je stubište u obliku spirale.



**Slika 33.** Stubište u obliku spirale

Izvor: <https://i.pinimg.com/originals/e9/91/23/e9912352df29658845ed8772f9ebbec9.jpg>

Zgrada je u obliku cilindrične spirale s nagibom od 3%. Na slici 34 prikazan je pogled na muzej.



**Slika 34.** Pogled na muzej

Izvor: <https://i.pinimg.com/originals/53/fb/c3/53fbc3a04fbede4bb00707e4667898e7.jpg>

## 10. TORANJ KOMPANIJE H.C PRICE

Građevina inspirirana tornjem Saint Marks iz 1925. godine dovršena je između 1946. i 1956. godine u Bartlesvilleu u Oklahomi. Wright je neboder smatrao metaforom stabla. Toranj visok 67 metara sastoji se od sedamnaest katova i dvije podzemne razine. Katovi su konzolni od središnje jezgre i izgledaju kao grane stabla. Pročelja su zgrade asimetrična.

Za izgradnju tornja korišteni su razni materijali - beton za zidove, pigmentirani beton za podove, bakar za pokrovne panele i aluminij za vrata i prozore. Odnos s prirodom naglašen je uporabom zemljanih tonova. U ljetnim mjesecima prozori su od izravnog svjetla zaštićeni lamelama [10]. Na slici 35 prikazan je Toranj kompanije H.C. Price.



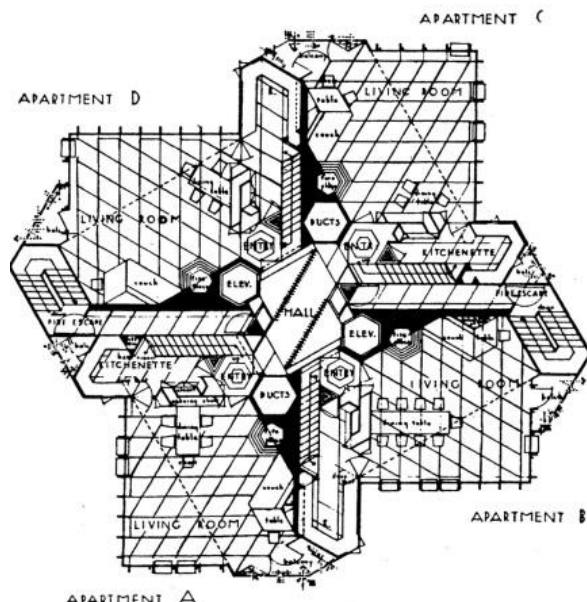
**Slika 35.** Toranj kompanije Price

*Izvor: [http://shuttermike.com/wp-content/uploads/2012/02/Price\\_tower\\_02.jpg](http://shuttermike.com/wp-content/uploads/2012/02/Price_tower_02.jpg)*

Tlocrt je konstruiran na rešetki u obliku dva sukladna kvadrata sa zajedničkim centrom simetrije koji se sijeku pod kutem od  $60^\circ$ . Sam je tlocrt tako podijeljen na četiri sukladna dijela. Ovako dobiveni kutevi mogu biti samo linearne kombinacije kuteva od



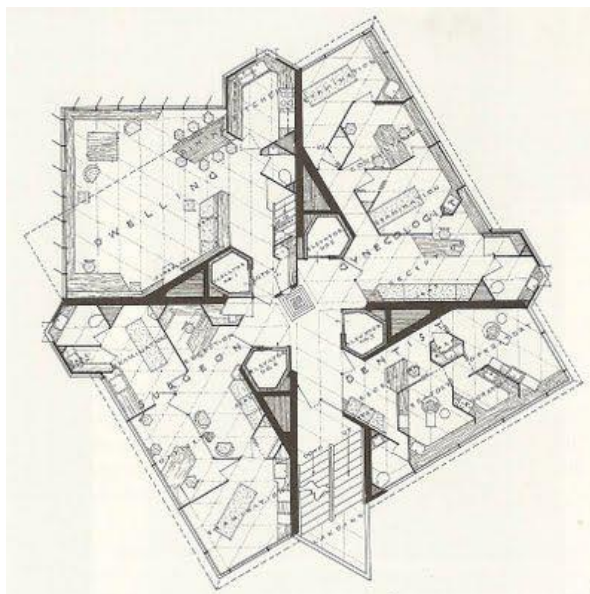
60° i 90° stoga unutarnje prostorije sadrže kuteve od 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 240° i 270°. Glede takve rešetke tlocrt nije osnosimetričan. Na slici 36 prikazana je mreža Tornja kompanije H. C. Price, a na slici 37 tlocrt Tornja kompanije H. C. Price.



**Slika 36.** Mreža Tornja kompanije Price

Izvor:

[http://images.adsttc.com/media/images/5038/08ed/28ba/0d59/9b00/0a56/large\\_jpg/stri  
ngio.jpg?1414198060](http://images.adsttc.com/media/images/5038/08ed/28ba/0d59/9b00/0a56/large_jpg/stri<br/>ngio.jpg?1414198060)

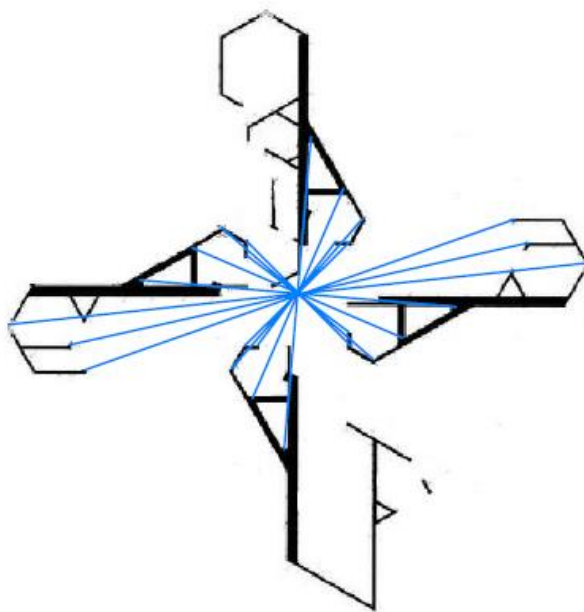


**Slika 37.** Tlocrt Tornja H.C.Price

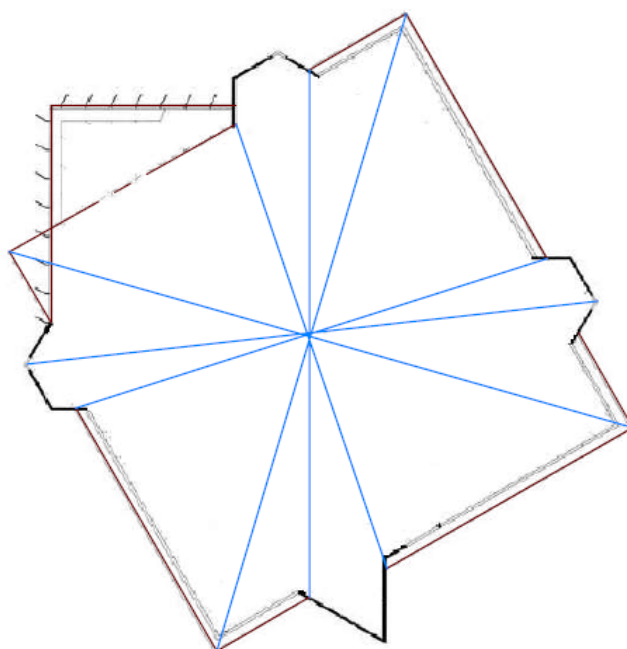
Izvor: [https://s-media-cache-](https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/564x/51/15/c0/5115c0f27d3424350ab18a446898c75c.jpg)

[ak0.pinimg.com/564x/51/15/c0/5115c0f27d3424350ab18a446898c75c.jpg](https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/564x/51/15/c0/5115c0f27d3424350ab18a446898c75c.jpg)

Na slici 38 prikazana je centralna simetrija unutarnjih zidova, a na slici 39 centralna simetrija vanjskih zidova.



**Slika 38.** Centralna simetrija unutarnjih zidova

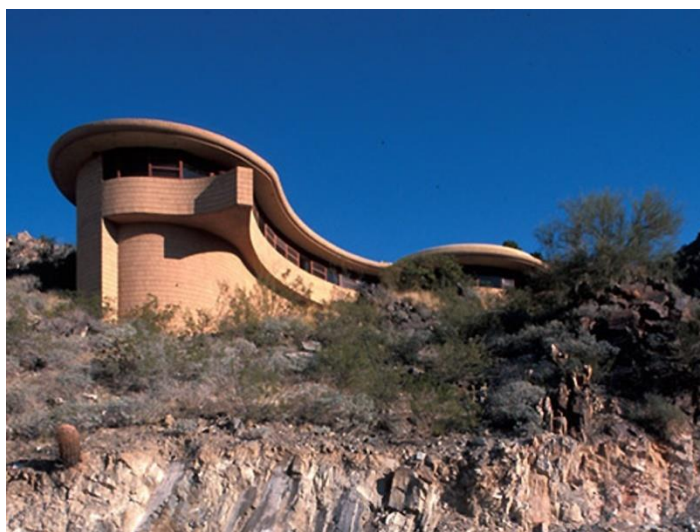


**Slika 39.** Centralna simetrija vanjskih zidova

## 11. KUĆA NORMAN LYKES

Kuća Normana Lykesa u Phoenixu u Arizoni primjer je organske arhitekture. Gradnja je započela neposredno prije Wrightove smrti i trajala do 1967. godine.

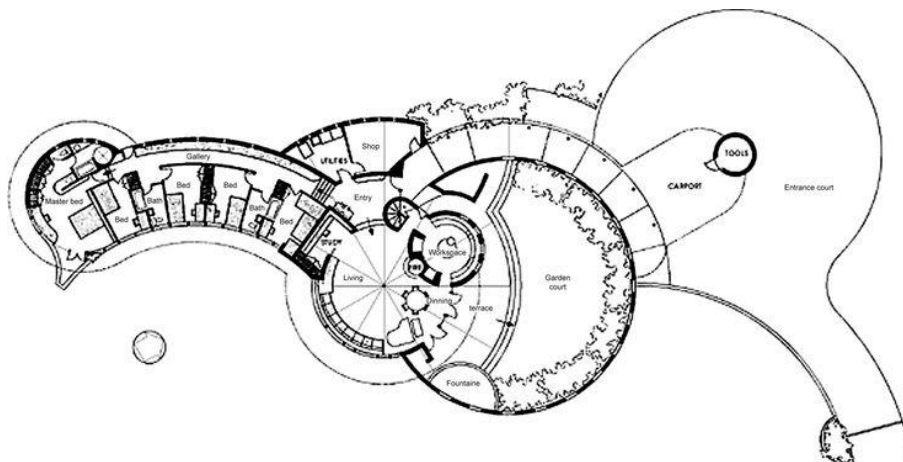
Kuća Normana Lykesa kao da je izrasla iz planine. Nastala je u periodu Wrightova korištenja geometrije krugova. Godine 1994. tadašnji je vlasnik napravio nekoliko manjih izmjena koje nisu utjecale na izvorni vanjski izgled, namještaj i karakter same kuće. Tlocrt kuće Normana Lykesa čine kružnice i kružni lukovi. Na slici 40 prikazana je kuća Norman Lykes, a na slici 41 tlocrt kuće Norman Lykes.



**Slika 40.** Kuća Norman Lykes

Izvor: [https://s-media-cache-](https://s-media-cache-ak0.pinning.com/originals/d2/f2/c9/d2f2c9206f71c2822669288561c68f9c.jpg)

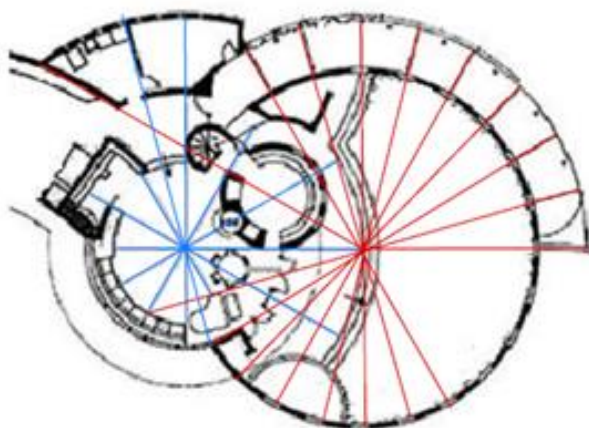
[ak0.pinning.com/originals/d2/f2/c9/d2f2c9206f71c2822669288561c68f9c.jpg](https://s-media-cache-ak0.pinning.com/originals/d2/f2/c9/d2f2c9206f71c2822669288561c68f9c.jpg)



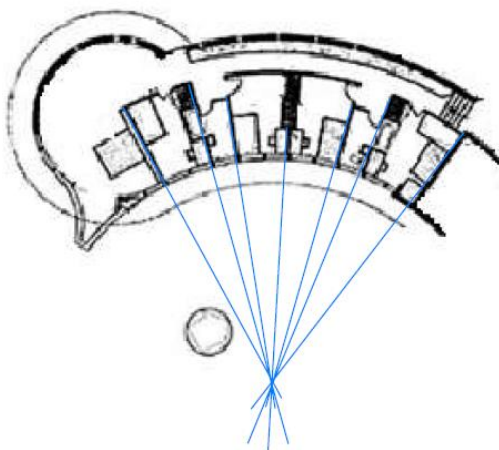
**Slika 41.** Tlocrt kuće Norman Lykes

Izvor: <http://www.steinerag.com/flw/Artifact%20Images/LykesFlourPlan-8.jpg>

Ukoliko promotrimo sve kružnice i kružne lukove primjećujemo četiri točke središta većini kružnica i kružnih lukova. Zidovi prostorija kombinacije su tih kružnica i kružnih lukova. Jedini se ravni zidovi nalaze između pojedinih koncentričnih kružnih lukova i leže na polumjerima tih lukova. Središnji kutovi tih polumjera međusobno su jednaki. Na slici 42 prikazan je tlocrt u obliku kružnica i kružnih lukova, a na slici 43 tlocrt u obliku kružnog luka.



**Slika 42.** *Kružnica i kružni lukovi*



**Slika 43.** *Kružni luk*



## 12. ZAKLJUČAK

U modernoj arhitekturi nailazimo na iznimno velik broj različitih matematičkih zakona i uporabu raznovrsnih zanimljivih geometrijskih oblika. Neke od najznačajnijih matematičkih modela u modernoj arhitekturi možemo vidjeti u djelima jednog od njenih začetnika, Franka Lloyd Wrighta.

Wright se koristio simetrijom, asimetrijom, zlatnim rezom, fraktalnom geometrijom, ornamentiranjem i drugim tehnikama. Zanimljiv je utjecaj Fröbelovih igara koje u svojim darovima sadrže sve elemente koje je Wright kasnije koristio u svojoj arhitekturi. Jednako kao i darovi od broja jedan nadalje, “svaka nova igra gradi se na poznavanju prethodne“, razvija se i Wrightova arhitektura tijekom godina. U početku su to bili jednostavni oblici u jednostavnim odnosima, zatim složeniji oblici nastali manipulacijom jednostavnih oblika i kao vrhunac uporabe kruga i spirale.

Spomenute matematičke modele Franka Lloyd Wrighta možemo smatrati temeljima moderne arhitekture. Njihovom su uporabom nastali poznati objekti Fallingwater, muzeju Guggenheim, kuća Hanna i druge građevine koje se smatraju jednim od najljepših na svijetu.

### 13. LITERATURA

- [1] Frank Lloyd Wright. <http://www.froebelweb.org/web2000.html> (Preuzeto 11.9.2017.) Blake P. (1998).
- [2] Majstori graditelji: Le Corbusier, Mies VanDer Rohe, Frank Lloyd Wright. Karlovac, Društvo arhitekata, građevinara i geodeta
- [3] The Geometry of Frank Lloyd Wright: Robie House vs. Fallingwater. <https://phdincreativewriting.wordpress.com/2012/11/02/the-geometry-of-frank-lloyd-wright-robie-house-vs-fallingwater/> (Preuzeto 14.8.2017.)
- [4] Davies P.J.E., Denny W.B., Hofrichter F.F., Jacobs J., Roberts A.M., Simon D.L. (2008). Jansonova povijest umjetnosti, zapadna tradicija. Varaždin, Stanek.
- [5] Müller W., Vogel G. (2000). Atlas arhitekture 2, Povijest graditeljstva od romanike do sadašnjosti. Zagreb, Copyright
- [6] Zevi B. (2010). Povijest moderne arhitekture II, Od Franka Lloyd Wrighta do Franka O. Gheryja: organski slijed. Zagreb, Golden marketing - Tehnička knjiga
- [7] Frank Lloyd Wright – Organička arhitektura. <http://nova-akropola.com/lijepe-umjetnosti/arhitektura/frank-lloyd-wright-organicka-arhitektura/>
- [8] Froebel gifts. <http://www.froebelgifts.com/>
- [9] Srinivasan U. Approaches to the use of geometry in architecture: A study of the works of Andrea Palladio, Frank Lloyd Wright, and Frank Gehry. <http://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/ETD-TAMU-2009-05-608/Srinivasan.pdf> (Preuzeto 29.7.2017.)
- [10] Brooks Pfeiffer B. (2004). Frank Lloyd Wright, Building for Democracy. Köln, TASCHEN

## 14. POPIS SLIKOVNIH REFERENCI

- Slika 1.** [https://www.visualnews.com/wp-content/uploads/2013/10/Frank\\_Lloyd\\_Wright\\_portrait.jpg](https://www.visualnews.com/wp-content/uploads/2013/10/Frank_Lloyd_Wright_portrait.jpg)
- Slika 2.** <http://www.playart.org/viewimage.php?galleryImageID=1703>
- Slika 5.** [http://e.math.hr/sites/default/files/slike/Vol30\\_Zlatnitrokut1.png](http://e.math.hr/sites/default/files/slike/Vol30_Zlatnitrokut1.png)
- Slika 6.** <http://heraznanje.com/fibonacci-niz-matematika-i-ljepota-u-prirodi-oko-nas/#>
- Slika 7.** <http://matematika.odlican.net/index.php?iz=3-142-0>
- Slika 8.** [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/81/01-Zw%C3%B6lfleck-Seite-gegeben\\_Animation.gif](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/81/01-Zw%C3%B6lfleck-Seite-gegeben_Animation.gif)
- Slika 9.** <https://www.chicagoarchitecture.org/wp-content/uploads/2015/02/FLW-01.jpg>
- Slika 10.** <http://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/ETD-TAMU-2009-05-608/Srinivasan.pdf>
- Slika 11.** <http://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/ETD-TAMU-2009-05-608/Srinivasan.pdf>
- Slika 12.** <http://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/ETD-TAMU-2009-05-608/Srinivasan.pdf>
- Slika 13.** <https://i.ytimg.com/vi/uEzXDGE0of0/maxresdefault.jpg>
- Slika 16.** <https://i.pinimg.com/564x/8b/55/4f/8b554fbf84920a4066036d7c1a2ba951.jpg>
- Slika 17.** <http://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/ETD-TAMU-2009-05-608/Srinivasan.pdf>
- Slika 18.** <https://i.pinimg.com/736x/2b/4d/c1/2b4dc13e30798680fbcc87877387fdce--robie-house-prairie-house.jpg>
- Slika 20.** [http://cdn.nexternal.com/redhentoys/images/prairie\\_elevation.jpg](http://cdn.nexternal.com/redhentoys/images/prairie_elevation.jpg)
- Slika 21.** <http://www.apcor.pt/en/portfolio-posts/fallingwater/>
- Slika 22.** [http://mrfatta.com/wp-content/uploads/2015/10/Falling\\_Water\\_08.jpg](http://mrfatta.com/wp-content/uploads/2015/10/Falling_Water_08.jpg)
- Slika 23.** <http://www.ieor.berkeley.edu/~goldberg/flw/second-floor-bw.gif>
- Slika 24.** [http://www.math.umd.edu/~dgulick/WorldCourses/WRLD125/IMAGES/FLW\\_FW](http://www.math.umd.edu/~dgulick/WorldCourses/WRLD125/IMAGES/FLW_FW)
- Slika 25.** [https://68.media.tumblr.com/2e054f6d5f5f81af9ddd0cd5c34c3066/tumblr\\_inline\\_n8ikz2KACD1rrmc50.jpg](https://68.media.tumblr.com/2e054f6d5f5f81af9ddd0cd5c34c3066/tumblr_inline_n8ikz2KACD1rrmc50.jpg)
- Slika 26.** [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1b/Hanna\\_House\\_10.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1b/Hanna_House_10.JPG)
- Slika 28.** <https://c6zvmr2tzkmc2w17wo5cppn-wpengine.netdna-ssl.com/wp->

*content/uploads/2015/09/site-plan.jpg*

**Slika 29.** *[http://wright-up.blogspot.hr/2013\\_11\\_01\\_archive.html](http://wright-up.blogspot.hr/2013_11_01_archive.html)*

**Slika 30.** *<http://mustseelaces.eu/wp-content/uploads/2017/02/solomon-r-guggenheim-museum-new-york.jpg>*

**Slika 31.** *[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/61/The\\_Guggenheim\\_Window.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/61/The_Guggenheim_Window.jpg)*

**Slika 32.** *<https://www.hydrotechusa.com/sites/default/files/projects/Guggenheim1.jpg>*

**Slika 33.** *<https://i.pinimg.com/originals/e9/91/23/e9912352df29658845ed8772f9ebbec9.jpg>*

**Slika 34.** *<https://i.pinimg.com/originals/53/fb/c3/53fbc3a04fbede4bb00707e4667898e7.jpg>*

**Slika 35.** *[http://shuttermike.com/wp-content/uploads/2012/02/Price\\_tower\\_02.jpg](http://shuttermike.com/wp-content/uploads/2012/02/Price_tower_02.jpg)*

**Slika 36.** *[http://images.adsttc.com/media/images/50/38/08ed/28ba/0d59/9b00/0a56/large\\_jpg/stringio.jpg?1414198060](http://images.adsttc.com/media/images/50/38/08ed/28ba/0d59/9b00/0a56/large_jpg/stringio.jpg?1414198060)*

**Slika 37.** *<https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/564x/51/15/c0/5115c0f27d3424350ab18a446898c75c.jpg>*

**Slika 40.** *<https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/d2/f2/c9/d2f2c9206f71c2822669288561c68f9c.jpg>*

**Slika 41.** *<http://www.steinerag.com/flw/Artifact%20Images/LykesFlourPlan-8.jpg>*